

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИРОДА ОКРАСКИ ИЗУМРУДОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХЕНЧ (АФГАНИСТАН)

Тараканова В.И.¹, Николаев А.Г.¹, Юргенсон Г.А.²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, valera.tarakanova.2000@mail.ru,

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, yurga@mail.ru

Изумруд является редкой хромсодержащей разновидностью берилла и встречается в различных промышленно-генетических типах месторождений. Целью данной работы являлось исследование методом оптической адсорбционной спектроскопии образцов изумрудов, изучение их кристаллохимических особенностей и природы окраски из месторождения Хенч, представляющего собой один из фрагментов Панджшерской изумрудоносной зоны в Афганистане. Месторождение изучалось одним из авторов в 1978–1980 гг. [Юргенсон, 1980; Юргенсон, 1982].

Оптические спектры изумрудов записывались на стандартизированном спектрофотометре МСФУ-К. Регистрация оптических спектров поглощения производилась в интервале длин волн 400–800 нм с шагом 1 нм. Для объективного измерения и описания окраски изумрудов была использована методика расчета координат цветности по международной колориметрической системе XYZ. Все колориметрические результаты по интерпретации оптических спектров поглощения минералов были вынесены на стандартный цветовой треугольник международной комиссии по освещению (МКО-1931). Колориметрические параметры исследуемых минералов (x, y, z – коэффициенты цветности; λ – длина волны, ρ – густота, L – яркость основного цветового тона) рассчитывались с использованием специализированной программы «Спектр», за основу расчетов брался источник света D65. Оптические спектры поглощения записывались с плоскопараллельных препаратов, запись спектров проводилась в обычном и поляризованном свете. Все экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре.

Панджшерская изумрудоносная зона располагается в шовной структуре между герцинскими

складчатыми сооружениями и Центрально-Афганским срединным массивом. Она имеет ширину до 5–10 км и сложена черными сланцами, кварцитами, мраморами, реже – метапесчаниками, вероятно, палеозойско-мезозойского возраста, прорванными биотитовыми габбро-диоритами, диоритами, монцодиоритами мелового возраста. Бериллиево-редкоземельное и медное оруденение связано с внедрением малых интрузий щелочно-земельно-натровых сиенитов и кварцевых порфиров миоценового возраста альпийской активизации. Изумруды приурочены к анкерит-кварцевым жилам и окварцованным зонам рассланцевания в черных сланцах или к зонам контактов мраморов с дайками монцодиоритов, диоритов и габбро-диоритов. Зоны приконтактных изменений содержат флогопит, альбит, турмалин, фуксит и пирит. Некоторые изумруды находятся в штокверке прожилков, который рассекает метасоматически измененные габбро и метадоломиты. Вмещающие изумрудоносные жилы сланцы, мраморы и габбро-диориты месторождения Хенч обогащены хромом и бериллием (табл. 1). В отдельных пробах присутствует тантал.

Изумруды месторождения Хенч содержат по данным 29 анализов 0.247–1.453 % Cr_2O_3 и 0.025–0.433 % V_2O_5 .

Берилл представляет собой кольцевой силикат бериллия и алюминия $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, структура берилла состоит из колец $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$, соединенных через атомы Be и Al. Кольца образуют вытянутые вдоль оси шестого порядка колонки, связанные бериллиево-кислородными тетраэдрами и алюмокислородными октаэдрами [Корнилов, 1987].

Характерной особенностью структуры минерала является наличие достаточно ёмких полостей – кана-

Таблица 1. Пределы содержаний бериллия, хрома и тантала в гидротермально измененных вмещающих породах

Горная порода	Число проб	Пределы содержания, %		
		Be	Cr	Ta
Сланцы	4	0.0003 – 0.01	0.003 – 0.021	До 0.003
Мраморы	4	0.0003 – 0.1	0.005 – 0.019	До 0.003
Габбро-диориты	3	0.0008 – 0.39	0.006 – 0.018	До 0.003

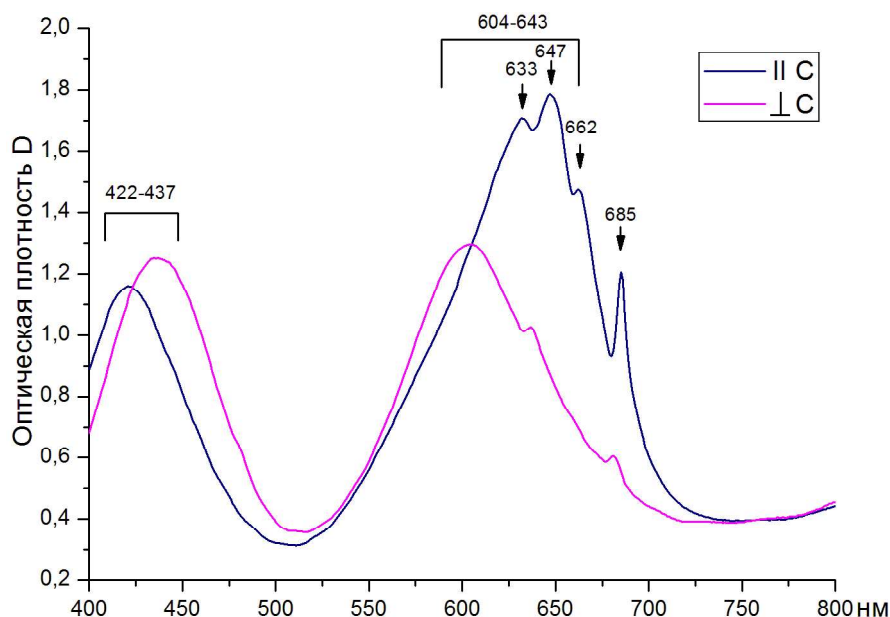


Рис. 1. Оптический спектр поглощения изумруда с месторождения Хенч

лов, которые объясняют возможность широкого проявления гетеровалентного изоморфизма с вхождением ионов-компенсаторов. Каналы достаточно большие, могут вмещать молекулы воды, крупные щелочные и щелочноземельные катионы. Для структуры берилла характерно частичное замещение атомов Be^{2+} на Li^+ , Mg^{2+} . Изоморфизму подвержены и ионы Al^{3+} в октаэдрических позициях структуры, которые могут быть замещены трёх- и двухвалентными катионами: $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Si}^{4+}$. В качестве ионов-компенсаторов в каналы структуры при этом входят крупные катионы щелочных металлов (Na^+ , Cs^+), а также группы $(\text{OH})^-$, молекулы H_2O , ионы F^- и др. [Егоров-Тисменко, 2005].

Общей особенностью оптических спектров изумрудов является наличие двух широких интенсивных полос поглощения в видимой области (рис. 1). Конфигурация спектров поглощения и значение энергии полос поглощения позволяет приписать наблюдаемые полосы электронным переходам в ионах Cr^{3+} , которые изоморфно замещают ионы Al^{3+} в октаэдрических позициях структуры берилла. Наличие тригонального искажения Al^{3+} октаэдров (локальная симметрия D_3) приводит к расщеплению возбуждённых уровней ионов Cr^{3+} , причем с основного уровня на подуровни расщепления разрешены для разных поляризационных направлений, что и проявляется в оптических спектрах. Полосы поглощения в районе 422-437 нм и 604-643 нм в спектрах изумрудов обусловлены разрешенными по спину переходами с основного состояния ${}^4\text{A}_2({}^4\text{F})$ на более высокие энергетические уровни ${}^4\text{T}_1({}^4\text{F})$ и ${}^4\text{T}_2({}^4\text{F})$, соответственно [Платонов, 1984; Свиридов, 1976].

Дополнительно на длинах волн 633, 647, 662 и 685 нм наблюдаются слабые узкие полосы поглощения, они также связаны с ионами Cr^{3+} . Группа линий 633, 647 и 662 нм образуется за счет спин-запрещенных переходов ${}^4\text{A}_2({}^4\text{F}) \rightarrow {}^2\text{T}_1({}^2\text{G})$. Как было сказано выше, за счет искажения октаэдрической позиции данный электронный переход расщепляется на три составляющие, и они имеют различную интенсивность в различных поляризационных направлениях в изумруде. Линия на длине волны 685 нм связана с электронным переходом ${}^4\text{A}_2({}^4\text{F}) \rightarrow {}^2\text{E}({}^2\text{G})$ в ионах $\text{Cr}^{3+}_{\text{VI}}$ [Платонов, 1984].

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения изумрудов был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО-1931. Для изумрудов доминирующая длина волны основного цветового тона составила $\lambda = 525.5 - 539.8$ нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 32.1 – 53.83 %.

В ходе проведенных исследований были проанализированы оптические спектры поглощения изумрудов с месторождения Хенч провинции Панджшер и исследована природа их окраски. Природа окраски связана исключительно с трехвалентным хромом, который изоморфно замещает алюминий в структуре берилла. Роль ванадия в этой связи предстоит еще выяснить. Полученные результаты дают новый материал для выяснения природы окраски зеленых кристаллов берилла Шерловой Горы в Забайкалье.

Работа выполнена согласно госзадания (№ 0386-2017-0006) проекта СО РАН IX 137.1.2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. М.: Изд-во «Книжный дом Университет», 2005. 592 с.
2. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни. М.: Недра, 1987. 239 с.
3. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. М.: Недра, 1984. 196 с.
4. Свиридов Д.Т., Свиридова Р.К., Смирнов Ю.Ф. Оптические спектры ионов переходных металлов в кристаллах. М.: Изд-во Наука, 1976. 266 с.
5. Юргенсон Г.А., Измайлов В.Н., Гармаль Г.А. Особенности минералогии изумрудоносных жил участка Херсканда // VIII научн.-метод. конф. Кабул: Кабульский политехнич. ин-т, 1980. С. 116-119.
6. Юргенсон Г.А., Пасеков Ю.М. Минералогия продуктивных изумрудоносных комплексов // Материалы XIII съезда ММА. Варна, 1982. С. 56-57.